

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>  
УДК (UDC): 66.084+541.182; 628.1; 658.265

**І. З. КОВАЛЬ**, канд. техн. наук,  
доцент кафедри фізичної, аналітичної та загальної хімії  
e-mail: [irynazk@gmail.com](mailto:irynazk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>  
Національний університет "Львівська політехніка"  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЇ ГАЗІВ НА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ОДНАКОВИМ МІКРОБНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

**Мета.** Дослідити дію газів на процес водоочищення від аеробних мікроорганізмів (МО) з однаковим їх вихідним вмістом у водному середовищі. Встановити природу газу, в атмосфері якого досягнуто найвищого ступеня зруйнованих мікробних клітин в одиниці об'єму води.

**Методи.** Для досліджень використовували аеробні бактерії роду *Bacillus cereus* з вихідним їх вмістом  $7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>. Досліджуваною водою слугувала модельна вода, створена на основі дистильованої деаерованої води з внесенням до неї бактерій конкретного виду. Досліджуваними газами були кисень, вуглекислий газ, а також інертні – аргон та гелій. Умови процесу: тривалість – 2 години, швидкість барботування газів – 0,2 см<sup>3</sup>/с, T = 288±1 К. Використовували кількісний метод підрахунку вихідного та кінцевого числа мікроорганізмів (ЧМ) шляхом висівання зразків досліджуваної води на поживне середовище у чашки Петрі до та після експериментів.

**Результати.** Показано різну ефективність процесу водоочищення в залежності від природи газу. Представлено зміну величини ЧМ від часу барботування газів. Розраховано ступені руйнування досліджуваних мікроорганізмів в залежності від режиму обробки води та тривалості процесу. Криві дії газів на процес очищення води від бактерій мали спадний характер впродовж всієї тривалості експерименту, за винятком дії кисню. Вплив кисню на процес руйнування МО складається з двох стадій – незначне нагромадження клітин (I стадія) та подальше їх руйнування на II стадії. Відсоток нагромадження клітин впродовж 3600с подачі кисню у водне середовище становив 9,43%, що зумовлено споживанням бактеріями барботованого кисню. Це й призвело до найнижчої ефективності процесу для дії кисню в кінцевому результаті ( $D_d$  лише 34,73%). Найбільшу ефективність руйнування МО виявлено при подачі вуглекислого газу ( $D_d = 91,0\%$ ), що, очевидно, обумовлено збільшенням кислотності досліджуваного середовища ( $pH_{\text{поч}} = 6,1$ ;  $pH_{\text{кін}} = 4,3$ ). Вивчено вплив гелію на очищення води при різному мікробному навантаженні. Показано, що ефективність руйнування клітин зростає із зменшення їх кількості в одиниці об'єму води.

**Висновки.** Показано вплив природи різних газів на процес руйнування аеробних МО у воді з однаковим та різним мікробним навантаженням. Встановлено, що процес очищення води від МО залежить від природи барботованого газу. Експериментально встановлено газ, подача якого дозволила досягнути найбільшої кількості загиблих клітин після 7200 с. Найвищу ефективність знезараження води досягнуто під час дії вуглекислого газу. Побудовано відносний ряд ефективної дії досліджуваних газів на очищення мікробної води.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *Bacillus cereus*, кисень, вуглекислий газ, аргон, гелій, вода

**Як цитувати:** Коваль І. З. Ефективність дії газів на очищення води з однаковим мікробним навантаженням. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2021. Вип. 25. С. 125-134. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>

**In cites:** Koval, I. Z. (2021). Effectiveness of using gases for water purification with the same microbial load. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (25), 125-134. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-11>

---

© Коваль І. З., 2021



This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

## Вступ

Загальними джерелами забруднень відкритих водойм є недостатнє очищення стічних вод промисловими та комунальними підприємствами, побутовим господарством, великими тваринницькими комплексами, змиття талими та дощовими водами забруднюючих речовин з полів та міських територій. Стічні води, що утворюються під час технологічних процесів, особливо після очищення викидаються до річок або водоймищ. В основному стічні води забруднені продуктами життєдіяльності населення, побутовими миючими засобами, фарбниками, відходами промисловості, що скидаються у каналізацію. Стічні води містять велику кількість МО, заражені яйцями гельмінтів і тому перед викидом у водойми вони підлягають механічному і біохімічному очищенню, знезараженню [1, 2]. Таким чином, велика кількість забруднюючих речовин надходять у відкриті водойми, змінюючи їх хімічний та мікробіологічний склад [3-6]. Саме тому й досі науковці здійснюють пошуки нових методів водоочищення, або займаються вдосконаленням вже існуючих методів.

Запропоновано безліч дієвих та результативних чинників впливу та обробки води не лише реагентними, але й безреагентними методами очищення води від МО. Значними позитивними відгуками відзначено дію ультрафіолетового випромінювання [2, 7-9], осмос [7, 10], озонування [11-14], ультразвуку [15-20], тощо. Однак, у

воді, окрім сторонніх забрудників, присутні розчинені гази, які мають вагомий вплив на розвиток та життєдіяльність різної водної мікрофлори. Наявність газоподібних речовин в природних водах також зумовлена продуктами їх життєдіяльності [21]. Тому в технології водоочищення важливо дослідити вплив газів на ріст і розвиток різних МО, оскільки їх вплив на мікрооб'єкти є маловивченим на даний час.

В роботі [18] виявили зменшення кількості дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* на 55% після 30-секундної дії п'єзоквацевим генератором з частота 800 кГц та інтенсивність 7 Вт/см<sup>2</sup>) з вихідною концентрацією 3·10<sup>5</sup> кл/см<sup>3</sup>, після 2 хв – 77%, після 10 хв – 90%. Під час подачі водню в аналогічній умовах експерименту спостерігали збільшення чисельності *Sacch. cerevisiae*. Дію кисню на бактеріальні клітини при різній концентрації межах 10<sup>2</sup> - 10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup> вивчено в [22], в [23] досліджували вплив концентрації кисню на ступінь загибелі клітин. Вплив підвищеної концентрації кисню на ріст та метаболізм еукаріотів та прокариотів представлено в [24].

В представлений роботі запропоновано обробку води з високим вмістом МО дією газів різної природи - киснем, вуглекислим газом, аргоном та гелієм, що дозволить зробити висновки щодо життєдіяльності бактерій в атмосфері конкретних газів.

## Методика

Для дослідження процесу руйнування МО у воді використовували монокультури паличкоподібних бактерії роду *Bacillus*. Чисті культури цих МО, з дотриманням умов стерильності, вносили до дистильованої води, яку попередньо дезаерували шляхом кип'ятіння. Тобто створювали модельне середовище для експериментів з вихідним мікробним навантаженням 7·10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup> з метою максимального наближення до реальної концентрації забруднення вод з відкритих водойм. Об'єм досліджуваного модельного середовища становив 75 см<sup>3</sup>, який заливали в скляний реактор і барботували досліджуваними газами впродовж двох годин. Таким чином застосовували різні режими

обробки води, а саме: барботування води киснем, вуглекислим газом, аргоном та гелієм. Температура реакційного середовища відповідала 298±1К.

Для визначення кількості МО в одиниці об'єму води кожних 30 хв стерильною піпеткою відбирали 1 см<sup>3</sup> досліджуваної води та здійснювали посів на тверде поживне середовище – м'ясо-пептонний агар (МПА). Кожну пробу води висівали не менше ніж в три паралельні чашки Петрі глибинним методом наступним чином. У стерильну злегка відкрити чашку Петрі вносили стерильною піпеткою посівну дозу (1 см<sup>3</sup>) і одразу заливали 15-20 см<sup>3</sup> розплавленого і охолодженого до 45-48°C поживного

середовища. Кришку закривали і легкими обертовими рухами чашки ретельно перемішували поживне середовище з посівним матеріалом для рівномірного покриття дна. В одну чашку Петрі вносили МПА без проби води, щоб пересвідчитись в стерильності середовища. Чашки залишали в горизонтальному положенні для застигання агару, при цьому клітини МО фіксуються в певній точці середовища. Потім чашки перевертали

дном догори і переносили у термостат з температурою, сприятливою для вирощування МО, а саме при 37 °С. Клітини МО розмножуються, їх маса зростає так, що утворюються колонії, помітні неозброєним оком.

Підрахунок клітин до і після обробки виражали в колонійутворюючих одиницях (КУО), які вирости на поживному середовищі на чашках Петрі. Методика підрахунку колоній детально наведена в [25].

### Результати досліджень

Досліджуваними МО були клітини аеробних бактерій роду *Bacillus cereus*, що пов'язано з виявленням цього різновиду МО в домінуючій кількості, як в різних природних водах, так і в стічній воді серед бактерій [26]. Відсоток переважання їх кількості становив > 60%, порівняно з іншими формами паличковидних та кулястих бактерій (*Bacterium*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Sarcina* тощо).

Детальну характеристику досліджуваних мікроорганізмів наведено в [25], а морфологічні особливості досліджуваних мікрооб'єктів – в [27].

Графічні залежності зміни величини ЧМ від тривалості барботування газів представлено на рис. 1, а відсоток зруйнованих клітин ( $D_d$ ) після кожного відбирання проб

води з врахуванням режиму обробки води узагальнено в таблиці 1. Ступінь руйнування МО після обробки мікробної води газом обчислено як відношення числа мікроорганізмів до початкового їх числа, виражений у відсотках.

Найвищу ефективність знезараження води виявив вуглекислий газ ( $D_d = 91,0\%$ ), і не лише в кінцевому результаті, але й впродовж всього процесу (табл. 1). Це пояснюється підкисленням середовища майже на дві одиниці внаслідок розчинення у воді вуглекислого газу. Зміну величини рН зображено на рис. 2, на якому бачимо плавне зменшення величини рН від тривалості подачі вуглекислого газу. Початкове значення рН води становило 6,1, а після двох годин барботування  $pH_{кін} = 4,3$ . Визначено, що

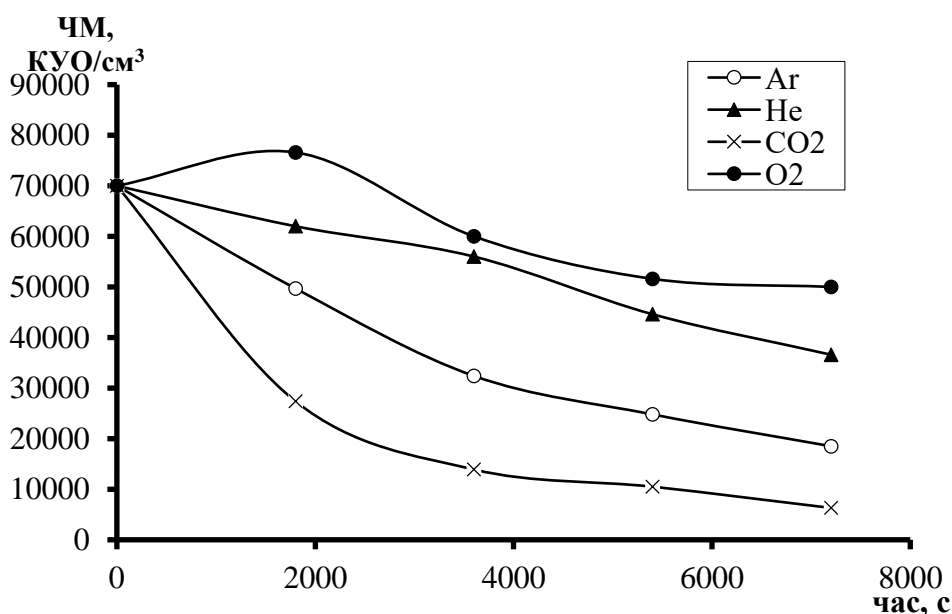


Рис. 1 – Залежності величин ЧМ для бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування газів  
Умови процесу:  $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>,  $T = 288 \pm 1$  К

Fig. 1 – Dependences of NM values for *Bacillus cereus* bacteria on the duration of gas bubbling  
Process conditions:  $NM_0 = 7 \cdot 10^4$  CFU/cm<sup>3</sup>,  $T = 288 \pm 1$  K

Таблиця 1  
Ступені руйнування досліджуваних мікроорганізмів при  $ЧМ_{01} = 7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>  
в залежності від режиму обробки води та тривалості процесу

Table 1  
Destruction degrees of the studied microorganisms at the  $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$  CFU/cm<sup>3</sup>  
depending on the water treatment mode and process duration

Режими обробки води	Ступінь руйнування від тривалості обробки води, %			
	1800с	3600 с	5400 с	7200 с
O <sub>2</sub>	-	21,67	32,63	34,73
He	11,43	20,0	36,29	47,71
Ar	29,0	53,71	64,57	73,57
CO <sub>2</sub>	60,86	80,14	85,0	91,0

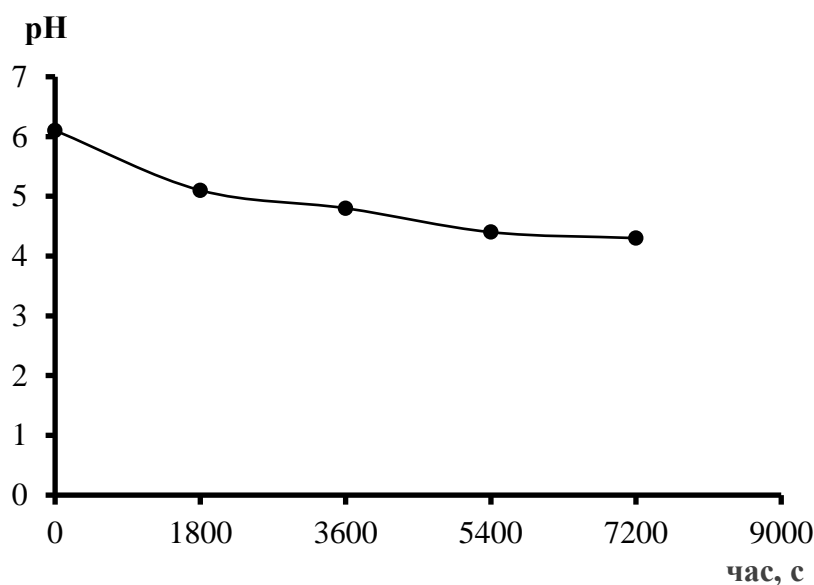


Рис. 2 – Зміна величини рН мікробної води з вмістом бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування вуглекислого газу

Fig. 2 – Change of pH value in microbial water containing *Bacillus cereus* bacteria depending on the duration of bubbling carbon dioxide

величина рН в часі спадає із аналогічною закономірністю зменшення кількості клітин в атмосфері CO<sub>2</sub>. Таким чином, саме збільшення кислотності водного середовища за рахунок водорозчинного вуглекислого газу із загальною його витратою 1,4 дм<sup>3</sup> після двогодинного процесу зумовило руйнування найбільшої кількості клітин, порівняно з дією кисню, аргону та гелію.

Якщо порівнювати вплив інертних газів при  $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup>, аргон очистив воду на 73,57 %, а ефективність дії гелію після  $t=7200$ с дорівнює 47,71 %. Загалом вплив самого аргону майже вдвічі перевищує ефективність дію самого гелію впродовж всієї тривалості барботування мікробної води з  $ЧМ_0 = 7 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup> (рис. 1). Щоб

більш детально дослідити вплив гелію на процес водоочищення, було здійснено обробку води гелієм з різним  $ЧМ_0$  (рис. 3). Показано, що криві при  $ЧМ_{02} = 4,8 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup> та  $ЧМ_{03} = 3,4 \cdot 10^4$  КУО/см<sup>3</sup> майже накладаються одна на одну та описуються майже однаковими величинами  $ЧМ/ЧМ_0$  (табл. 2) для з досягненням ступеня руйнування клітин в межах 72-77% (табл. 3), наближаючись до ефективності дії аргону. Отже, гелій демонструє досягнення вищих показників водоочищення від бактерій при меншій їх концентрації.

Найменшу ефективність під час очищення води досліджено в атмосфері кисню, процес якого можна розділити на дві стадії. На I стадії відбулось незначне нагромад-

ження клітин МО, очевидно, за рахунок споживання кисню аеробними клітинами досліджуваних бактерій. На II стадії спостерігаємо повільне і плавне зменшення чисельності клітин (рис. 1), що пояснюється насиченням водного середовища киснем та подальшим їх відмиранням. Представлені результати щодо дії кисню узгоджуються з

результатами нашої попередньої роботи [22], де також виявлено двостадійний процес зміни ЧМ під час барботування кисню через мікробну воду при різних ЧМ<sub>0</sub> та встановлено, що тривалість стадії нагромадження бациллярних клітин зменшується із збільшення мікробного навантаження у воді.

Таблиця 2

Зміна величин ЧМ/ЧМ<sub>0</sub> від тривалості обробки мікробної води гелієм при різній вихідній кількості мікроорганізмів

Table 2

Changes of NM/NM<sub>0</sub> values depending on the treatment duration of microbial water in the helium atmosphere at the different initial number of microorganisms

Тривалість дії гелію, с	ЧМ/ЧМ <sub>0</sub> для різної вихідної кількості мікроорганізмів		
	3,4·10 <sup>4</sup> КУО/см <sup>3</sup>	4,8·10 <sup>4</sup> КУО/см <sup>3</sup>	7·10 <sup>4</sup> КУО/см <sup>3</sup>
1800	0,79	0,76	0,89
3600	0,54	0,57	0,82
5400	0,36	0,47	0,64
7200	0,23	0,27	0,52

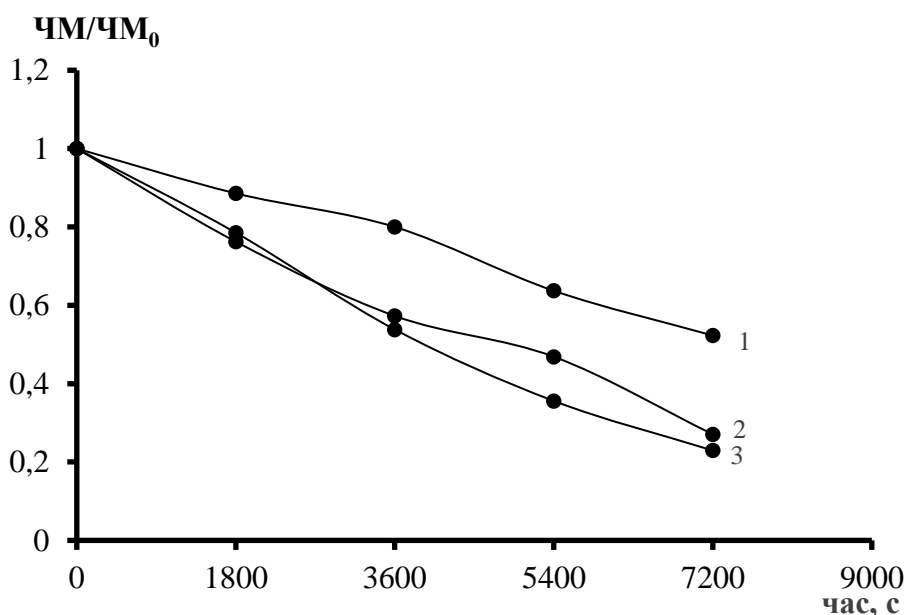


Рис. 3 – Залежності відношення ЧМ/ЧМ<sub>0</sub> для бактерій *Bacillus cereus* від тривалості барботування гелію при різному вихідному ЧМ<sub>0</sub>.  
Умови процесу: ЧМ<sub>01</sub> = 7·10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup>, ЧМ<sub>02</sub> = 4,8·10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup>, ЧМ<sub>03</sub> = 3,4·10<sup>4</sup> КУО/см<sup>3</sup>, T = 288±1 К

Fig. 3 – Dependences of the NM/NM<sub>0</sub> ratio for *Bacillus cereus* bacteria on the duration of helium bubbling at the different initial NM<sub>0</sub>.  
Process conditions: NM<sub>01</sub> = 7 · 10<sup>4</sup> CFU/cm<sup>3</sup>, NM<sub>02</sub> = 4.8 · 10<sup>4</sup> CFU/cm<sup>3</sup>, NM<sub>03</sub> = 3.4 · 10<sup>4</sup> CFU/cm<sup>3</sup>, T = 288 ± 1 K

Таблиця 3

Ступінь зруйнованих клітин ( $D_d$ ) після обробки мікробної води гелієм при різній вихідній кількості мікроорганізмів

Table 3

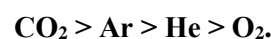
Degree of destroyed cells ( $D_d$ ) after helium treatment of microbial water at the different initial number of microorganisms

Вихідна кількість мікроорганізмів, КУО/см <sup>3</sup>	Величини $D_d$ після обробки води тривалістю 7200 с, %
$3,4 \cdot 10^4$	77,06
$4,8 \cdot 10^4$	72,92
$7 \cdot 10^4$	47,71

За результатами досліджень можна порівняти ефективність руйнування МО у водному середовищі під час дії різних газів і, таким чином, визначити газоподібну атмосферу, в якій цей процес є найбільш ефективним, та в атмосфері якого газу бактерії руйнуються найповільніше.

Приймаючи до уваги результативність впливу досліджуваних газів, можна відобра-

зати відносний ряд ефективної загибелі *Bacillus* внаслідок їх дії:



Таким чином, здійснені експерименти дозволили описати та обґрунтувати процеси очищення води від конкретних МО та встановити ефективну природу газу на їх руйнування.

### Висновки

Вивчаючи вплив різних режимів обробки води, а саме дію кисню, вуглекислого газу та інертних аргону і гелію, найбільшу кількість зруйнованих бактеріальних клітин досліджено в атмосфері вуглекислого газу, а найменшу – в атмосфері кисню. Після барботування  $\text{CO}_2$  зі швидкістю  $0,2 \text{ см}^3/\text{с}$  через водне середовище об'ємом  $75 \text{ см}^3$  мікробне число зменшилось на два порядки, досягаючи при цьому

ступеня знезараження води 91,0%. Показано, що ефективність дії гелію збільшується із зменшення мікробного навантаження у воді. Виявивши високу ефективність дії  $\text{CO}_2$  на процес руйнування бактеріальних клітин, цей газ доцільно застосовувати в процесах водоочищення, а також в поєднанні з іншими реагентами або фізичними методами обробки води з метою підсилення руйнівної дії на мікроб'єкти.

### Конфлікт інтересів

Автор заявляє, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автор повністю дотримувався етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Список використаної літератури

1. Kurmakova I., Demchenko N., Bondar O., Vorobyova V. Microbiological Composition of the Biofilm on the Metal Surface of Sewage Constructions. *Chemistry & Chemical Technology*. 2018. Vol. 12. No. 4. P. 519–522. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.519>
2. Іванченко Л. В., Кожухар В. Я., Брем В. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. Одеса : Екологія, 2017. 208 с.
3. Posthuma L., Zijp M. C., Zwart, D. D. et al. Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P.148-156 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>
4. Haseena M., Malik M. F., Javed A., Arshad S., Asif N., Zulfiqar Sh. and Hanif J. Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*. 2017. Vol. 1, No. 3. P. 16-19. DOI: <https://doi.org/10.4066/2529-8046.100020>

5. Chaudhry F. N., Malik M. F. Factors Affecting Water Pollution: A Review. *J. Ecosyst Ecography*. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 225-230. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>
6. Кравченко М. В. Фізико-хімічний аналіз природної питної води різних джерел водопостачання. *Екологічна безпека та природокористування*. 2015. Т. 19, № 3. С. 52-60.
7. Dirisu G. B., Okonkwo U. C., Okokpuije I. P., Fayomi S. I. Comparative analysis of the effectiveness of reverse osmosis and ultraviolet radiation of water treatment. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20, No. 1. P. 61-75. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
8. Oguma K., Rattanukul S., Masaike M. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes. *Water Supply*. 2019. Vol. 19, No 5. P. 1507–1514. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2019.022>
9. Nguyen T. M., Suwan P., Koottatep Th. and Becka S. E. Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res*. 2019. Vol. 153. P. 53–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.006>
10. Wei C., Zhang F., Hu Y., Feng C., Wu H. Ozonation in water treatment: The generation, basic properties of ozone and its practical application. *Reviews in Chemical Engineering*. 2017. Vol. 33, No. 1. P. 302-315. DOI: <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>
11. Потапченко Н. Г., Левадная Т. И., Соболева Н. М. Кинетика гибели *E. coli* под действием озона. Химия и технология воды. 2007. Т.29, №6. С.582-594.
12. Manasfi T. Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 92. P. 85-116. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>
13. Pawełek J. and Bergel T. Ozone water treatment in small water purification plants in Poland – Mszana Dolna case study. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 86. 29-32. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600029>
14. Santos L. M., Silva E. S., Oliveira F. O., Rodrigues L. A., Neves P. R., Meira C. S., Moreira G. A., Lobato G. M., Nascimento C., Gerhardt M. et al. Ozonized Water in Microbial Control: Analysis of the Stability, In Vitro Biocidal Potential, and Cytotoxicity. *Biology*. 2021. Vol. 10. P. 525-545. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology10060525>
15. Raed A. A.-J., Vasantha A., Talal Y. Impact of pulsed ultrasound on bacteria reduction of natural waters. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2015. Vol. 27. P. 137–147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.007>
16. Luhovskyi O. F., Gryshko I. A., Bernyk I. M. Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2018. Vol. 40. P. 95-101. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>
17. Li Y., Shi X., Zhang Zh., Peng Y. Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in *Microcystis aeruginosa*-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 55. P. 232-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
18. Dai Ch., Xiong F., He R., Zhang W. Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochem*. 2017. Vol. 36. P. 191-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
19. Iorio M. C., Bevilacqua A., Corbo M. R. A case study on the use of ultrasound for the inhibition of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in almond milk. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 52. P. 477-483. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
20. Kong Y., Peng Y., Zhang Zh. Removal of *Microcystis aeruginosa* by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem*. 2019. Vol. 56. P. 447-457. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
21. Мягченко О. П. Основы экологии : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 312 с.
22. Коваль І. Вплив концентрації аеробних бактерій на процес їх життєздатності в присутності кисню. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2020. № 23. С. 118-123. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-10>
23. Ruigrok, M.J.R., Tomar, J., Frijlink, H.W. et al. The effects of oxygen concentration on cell death, anti-oxidant transcription, acute inflammation, and cell proliferation in precision-cut lung slices. *Sci. Rep*. 2019. Vol. 9. P. 16239. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52813-2>
24. Baez, A., Shiloach, J. Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microb. Cell Fact*. 2014. Vol. 13. P. 181. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>
25. Коваль І. Вплив кисню та вуглекислого газу на очищення води від бактерій та дріжджів в кавітаційних умовах. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2020. № 22. С. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07>
26. Коваль І. З. Переважаюча мікрофлора природних та стічних вод Львівщини. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2020. Vol. 3, No. 2. P. 121-126. DOI: <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121>

27. Koval I., Starchevskyy V. Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *Chemistry & Chemical Technology*. 2020. Vol. 14, No. 2. P. 264-270. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>

Стаття надійшла до редакції 15.09.2021

Стаття рекомендована до друку 22.10.2021

**I. Z. KOVAL**, Ph. D. (Technical),

Associate Professor of the Department of Physical, Analytical and General Chemistry

e-mail: [irykazk@gmail.com](mailto:irykazk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>

Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery, Str., Lviv, 79013, Ukraine

### EFFECTIVENESS OF USING GASES FOR WATER PURIFICATION WITH THE SAME MICROBIAL LOAD

**Purpose** of the study is to investigate the effect of gases on the process of water purification from aerobic microorganisms (MO) with the same initial content in the aquatic medium and to identify the nature of the gas in the atmosphere in which the highest degree of destroyed microbial cells per unit volume of water is achieved.

**Methods.** Aerobic bacteria of the *Bacillus cereus* bacteria type with the initial content of  $7 \cdot 10^4$  CFU/cm<sup>3</sup> were used for research. The investigated water was model water created on the basis of distilled deaerated water with the introduction of bacteria of a specific species. Oxygen, carbon dioxide, as well as inert - argon and helium were used as a studied gases. Process conditions were: duration - 2 hours, gas bubbling rate - 0.2 cm<sup>3</sup>/c, T = 288 ± 1 K. Has been used a quantitative method of counting the initial and final number of microorganisms (NM) by sowing samples of test water on nutrient medium in Petri dishes before and after experiments.

**Results.** The different efficiency for the water purification process depending on the gas nature is shown. The NM value change of the time of bubbling gases is presented. The degree of destruction of the studied microorganisms was calculated depending on the mode of water treatment and the process duration. The oxygen influence on the process of MO destruction consists of two stages - a slight accumulation of cells (I stage) and their subsequent destruction in the II stage. The percentage of cell accumulation during 3600s during oxygen bubbling into the aqueous medium was 9.43%, which is due to the consumption of bubbling oxygen by bacteria. This led to the lowest process efficiency for the oxygen action in the end of the result ( $D_d$  is 34.73% only). The greatest efficiency of MO destruction was found during carbon dioxide bubbling ( $D_d$  = 91.0%), which is obviously due to the increase in the acidity of the test medium ( $pH_{initial} = 6.1$  and  $pH_{end} = 4.3$ ). The influence of helium on water purification at different microbial load has been studied. It has been shown that the efficiency of cell destruction increases with a decrease of its number per unit volume of water.

**Conclusions.** The influence of the different gases nature on the destruction process of aerobic MO in water with the same and different microbial load is shown. It is established that the process of water purification from MO depends on the nature of the bubbled gas. The gas, the supply of which allowed to achieve the largest number of destroyed cells after 7200 s, was experimentally determined. The highest efficiency of water disinfection is achieved during the action of carbon dioxide. A relative series of effective action of the investigated gases on microbial water purification is established.

**KEY WORDS:** *Bacillus cereus*, oxygen, carbon dioxide, argon, helium, water

### References

1. Kurmakova, I., Demchenko, N., Bondar, O. & Vorobyova, V. (2018). Microbiological Composition of the Bio-film on the Metal Surface of Sewage Constructions. *Chemistry & Chemical Technology*, 12(4), 519–522. <https://doi.org/10.23939/chcht12.04.519>
2. Ivanchenko, L. V., Kozhukhar, V. YA. & Brem, V. V. (2017). Chemistry and technology of water. Odessa: Ecology. (In Ukrainian)
3. Posthuma, L., Zijp, M. C., Zwart, D. D. ... Birk, S. (2020). Chemical pollution imposes limitations to the ecological status of European surface waters. *Scientific Reports*, 10, 148-156. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71537-2>
4. Haseena, M., Malik, M.F., Javed, A., Arshad, S., Asif, N., Zulfiqar, Sh. & Hanif, J. (2017). Water pollution and human health. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 1(3), 16-19. <https://doi.org/10.4066/2529-8046.100020>
5. Chaudhry, F. N. & Malik, M. F. (2017). Factors Affecting Water Pollution: A Review. *J. Ecosyst Ecology*, 7(1), 225-230. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000225>



6. Kravchenko, M. V. (2015). Physico-chemical analysis of natural drinking water from different sources of water supply. *Ecological safety and nature management*, 19(3), 52–60. (In Ukrainian)
7. Dirisu, G. B., Okonkwo, U. C., Okokpujie, I. P. & Fayomi, S. I. (2019). Comparative analysis of the effectiveness of reverse osmosis and ultraviolet radiation of water treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 20(1), 61-75. <https://doi.org/10.12911/22998993/93978>
8. Oguma, K., Rattanukul, S. & Masaike, M. (2019). Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes. *Water Supply.*, 19(5), 1507–1514. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.022>
9. Nguyen, T. M., Suwan, P., Koottatep, Th. & Becka, S. E. (2019). Application of a novel, continuous-feeding ultraviolet light emitting diode (UV-LED) system to disinfect domestic wastewater for discharge or agricultural reuse. *Water Res.*, 153, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.006>
10. Wei, C., Zhang, F., Hu, Y., Feng, C. & Wu, H. (2017). Ozonation in water treatment: The generation, basic properties of ozone and its practical application. *Reviews in Chemical Engineering*, 33(1), 302-315. <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0008>
11. Potapchenko, N. G., Levadnaya, T. I., Soboleva, N. M. et al. (2007). Kinetics of death of E. coli under the influence of ozone. *Chemistry and technology of water*, 29(6), 582-594. (In Russia)
12. Manasfi, T. (2021). Ozonation in drinking water treatment: an overview of general and practical aspects, mechanisms, kinetics, and byproduct formation. *Comprehensive Analytical Chemistry*. 92, 85-116. <https://doi.org/10.1016/bs.coac.2021.02.003>
13. Pawełek, J. & Bergel, T. (2019). Ozone water treatment in small water purification plants in Poland – Mszana Dolna case study. *E3S Web of Conference*, 86, 29-32. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600029>
14. Santos, L. M., Silva, E. S., Oliveira, F. O., Rodrigues, L. A., Neves, P. R., Meira, C. S., Moreira, G. A., Lobato, G. M., Nascimento, C., Gerhardt, M. ... Machado, B.A.S. (2021). Ozonized Water in Microbial Control: Analysis of the Stability, In Vitro Biocidal Potential, and Cytotoxicity. *Biology*, 10(6), 525-545. <https://doi.org/10.3390/biology10060525>
15. Raed A. A.-J., Vasantha A., Talal Y. (2015). Impact of pulsed ultrasound on bacteria reduction of natural waters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.05.007>
16. Luhovskyi, O. F., Gryshko, I. A. & Bernyk, I. M. (2018). Enhancing the Efficiency of Ultrasonic Wastewater Disinfection Technology. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 40, 95-101. <https://doi.org/10.3103/S1063455X18020078>
17. Li, Y., Shi, X., Zhang, Zh. & Peng, Y. (2019). Enhanced coagulation by high-frequency ultrasound in Microcystis aeruginosa-laden water: Strategies and mechanisms. *Ultrasonics Sonochem.*, 55, 232-242. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.022>
18. Dai, Ch., Xiong, F., He, R. & Zhang, W. (2017). Effects of low-intensity ultrasound on the growth, cell membrane permeability and ethanol tolerance of Saccharomyces cerevisiae. *Ultrasonics Sonochem.*, 36, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.11.035>
19. Iorio, M. C., Bevilacqua, A. & Corbo, M. R. (2019). A case study on the use of ultrasound for the inhibition of Escherichia coli O157:H7 and Listeria monocytogenes in almond milk. *Ultrasonics Sonochem.*, 52, 477-483. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.026>
20. Kong, Y., Peng, Y. & Zhang, Zh. (2019). Removal of Microcystis aeruginosa by ultrasound: Inactivation mechanism and release of algal organic matter. *Ultrasonics Sonochem.*, 56, 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.04.017>
21. Myahchenko, O. P. (2010). Fundamentals of ecology. Kyiv: Center for Educational Literature. (In Ukrainian)
22. Koval, I. (2020). Influence of Aerobic Bacteria Concentration on the Process of its Survival in the Presence of Oxygen. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (23), 118-123. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-10> (In Ukrainian)
23. Ruigrok, M.J.R., Tomar, J. & Frijlink, H.W. (2019). The effects of oxygen concentration on cell death, anti-oxidant transcription, acute inflammation, and cell proliferation in precision-cut lung slices. *Sci. Rep.*, 9, 16239-16248. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52813-2>
24. Baez, A. & Shiloach, J. (2014). Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microb. Cell Fact.*, 13, 181-193. <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>
25. Koval, I. (2020). Influence of Oxygen and Carbon Dioxide on Water Purification from Bacteria and Yeast Under Cavitation Conditions. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, (22), 75-81. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-07> (In Ukrainian)
26. Koval, I. (2020). Predominant microflora of natural and wastewaters of lviv region. Chemistry, Technology and Application of Substances, 3(2), 121-126. <https://doi.org/10.23939/ctas2020.02.121> (In Ukrainian)
27. Koval, I. & Starchevskyy, V. (2020). Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *Chemistry & Chemical Technology*, 14(2), 264-270. <https://doi.org/10.23939/chcht14.02.264>

The article was received by the editors 15.09.2021  
The article is recommended for printing 22.10.2021

**И. З. КОВАЛЬ**, канд. техн. наук,  
доцент кафедры физической, аналитической и общей химии  
e-mail: [rynazk@gmail.com](mailto:rynazk@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8154-4154>  
Национальный университет "Львовская политехника",  
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВ НА ОЧИСТКУ ВОДЫ С ОДИНАКОВОЙ МИКРОБНОЙ НАГРУЗКОЙ

**Цель.** Исследовать действие газов на процесс водоочистки от аэробных микроорганизмов (МО) с одинаковым их исходным содержанием в водной среде. Установить природу газа, в атмосфере которого достигнуто высшей степени разрушенных микробных клеток в единице объема воды.

**Методы.** Использовано аэробные бактерии рода *Bacillus cereus* с исходным их содержанием  $7 \cdot 10^4$  КОЕ/см<sup>3</sup>. Исследуемой водой служила модельная вода, созданная на основе дистиллированной деаэрированной воды с внесением в нее бактерий конкретного вида. Исследуемыми газами были кислород, углекислый газ, а также инертные - аргон и гелий. Условия процесса: продолжительность – 2 часа, скорость барботирования газов -  $0,2 \text{ см}^3/\text{с}$ ,  $T = 288 \pm 1 \text{ К}$ . Использовали количественный метод подсчета выходного и конечного числа микроорганизмов (ЧМ) путем посева образцов исследуемой воды на питательную среду в чашки Петри до и после экспериментов.

**Результаты.** Показано разную эффективность процесса водоочистки в зависимости от природы газа. Представлены изменение величины ЧМ от времени барботирования газов. Рассчитано степени разрушения исследуемых микроорганизмов в зависимости от режима обработки воды и продолжительности процесса. Кривые действия газов на процесс очистки воды от бактерий имели нисходящий характер на протяжении всей продолжительности эксперимента, за исключением действия кислорода. Влияние кислорода на процесс разрушения МО состоит из двух стадий - незначительное накопление клеток (I стадия) и дальнейшее их разрушение на II стадии. Процент накопления клеток в течение 3600 с подачи кислорода в водную среду составил 9,43%, что обусловлено потреблением бактериями барботованного кислорода. Это и привело к низкой эффективности процесса для действия кислорода в конечном итоге ( $D_d$  только 34,73%). Наибольшую эффективность разрушения МО выявлено при подаче углекислого газа ( $D_d = 91,0\%$ ), что, очевидно, обусловлено увеличением кислотности исследуемой среды ( $\text{pH}_{\text{начальное}} = 6,1$ , а  $\text{pH}_{\text{конечное}} = 4,3$ ). Изучено влияние гелия на очистку воды при различной микробной нагрузке. Показано, что эффективность разрушения клеток возрастает по уменьшению их количества в единице объема воды.

**Выводы.** Показано влияние природы различных газов на процесс разрушения аэробных МО в воде с одинаковой и разной микробной нагрузкой. Установлено, что процесс очистки воды от МО зависит от природы барботованного газа. Экспериментально определено газ, подача которого позволила достичь наибольшего количества погибших клеток после 7200 с. Самую высокую эффективность обеззараживания воды достигнуто во время действия углекислого газа. Построено относительный ряд эффективного действия исследуемых газов на очистку микробной воды.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Bacillus cereus*, кислород, углекислый газ, аргон, гелий, вода

Статья поступила в редакцию 15.09.2021

Статья рекомендована в печать 22.10.2021